

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06232824 A**

(43) Date of publication of application: 19 . 08 . 94

(51) Int. Cl.

H04B 14/04
G10L 3/02
G10L 9/16
H03M 7/30
// H04N 7/133

(21) Application number: **05019911**(22) Date of filing: **08 . 02 . 93**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor: **NIKAIDO MASATAKA**
UENO TAKAFUMI
IZUMI TOMOAKI
KASAHARA TETSUSHI

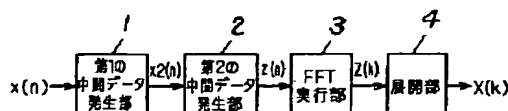
(54) **CORRECTING DISCRETE COSINE TRANSFORMATION, INVERSE TRANSFORMING METHOD AND ITS DEVICE**

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a high-speed calculating method and its device for efficiently performing the calculation of MDCT in the case of compressing audio signals.

CONSTITUTION: This device is provided with a first intermediate data generating part 1 for providing first intermediate data $x_2(n)$ ($0 \leq n \leq M-1$) from the combination of specified two points in input sample data $x(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$) of two M points, a second intermediate data generating part 2 for providing M/2 pieces of second intermediate data $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$) by dividing the intermediate data $x_2(n)$ into the first half and the latter half, an FFT executing part 3 for providing M/2 pieces of Fourier coefficients $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$) by performing high-speed Fourier transformation to the second intermediate data $z(n)$ and an extension part 4 for providing the even-numbered spectrum and odd-numbered spectrum of the input data $x(n)$ from the output $Z(k)$ of the FFT executing means.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-232824

(43)公開日 平成 6 年(1994) 8 月 19 日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 14/04	Z	4101-5K		
G 1 0 L 3/02	A	8946-5H		
		8946-5H		
H 0 3 M 7/30	A	8522-5J		
// H 0 4 N 7/133	Z			

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平5-19911

(22)出願日 平成 5 年(1993) 2 月 8 日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 二階堂 正隆

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 上野 孝文

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 泉 智紹

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外 2 名)

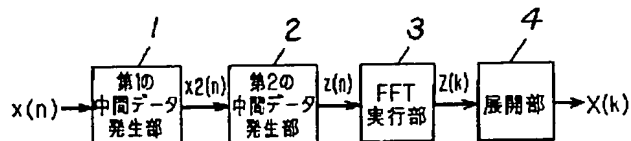
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 修正離散余弦変換とその逆変換方法及び装置

(57)【要約】

【目的】 オーディオ信号等の圧縮において、MDCTの計算を効率よく行うための、高速計算方法とその装置を提供する。

【構成】 2M点の入力サンプルデータ $x(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$)の、特定の2点どうしの組み合わせから第1の中間データ $x_2(n)$ ($0 \leq n \leq M-1$)を得る第1の中間データ発生部と、中間データ $x_2(n)$ を前半と後半に区分して $M/2$ 個の第2の中間データ $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$)を得る第2の中間データ発生部と、第2の中間データ $z(n)$ に高速フーリエ変換を施して $M/2$ 個のフーリエ係数 $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$)を得るFFT実行部と、FFT実行手段の出力 $Z(k)$ から入力データ $x(n)$ の偶数番目のスペクトルと奇数番目のスペクトルとを得る展開部とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 $2M$ 点の入力サンプルデータ $x(n)$

($0 \leq n \leq 2M-1$) の、特定の2点どうしの組み合わせを加算または減算し、或いは負号反転して、 M 点の第1の中間データ $x_2(n)$ ($0 \leq n \leq M-1$) を得る第1の中間データ発生部と、上記中間データ $x_2(n)$ を前半と後半に区分し、前半の $x_2(n)$ を実数部とすると同時に後半の $x_2(n+M/2)$ の負号を反転して虚数部とし、更に $\exp(-j\pi n/M)$ をかけ算して、 $M/2$ 個の第2の中間データ $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$) を得る第2の中間データ発生部と、上記第2の中間データ $z(n)$ に高速フーリエ変換を施して $M/2$ 個のフーリエ係数 $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$) を得るFFT実行部と、FFT実行手段の出力 $Z(k)$ と、それに対応する所定の回転要素との乗算結果の実数部を求めることで、入力データ $x(n)$ の偶数番目のスペクトルを得、また、FFT実行手段の出力 $Z(k)$ の共役複素数 $Z^*(M/2-1-k)$ と、それに対応する所定の回転要素との乗算結果の実数部を求めることで、入力データ $x(n)$ の奇数番目のスペクトルを出力する展開部とを備えてなる修正余弦変換装置。

【請求項2】 M 個の入力スペクトルデータ $X(k)$

($0 \leq k \leq M-1$) の、偶数番目のデータを M 個の第1の中間データ $U(k)$ ($0 \leq k \leq M-1$) の前半 ($0 \leq k \leq M/2-1$) に配置し、奇数番目のデータを負号反転し、更に順序を反転した後、前記第1の中間データ U

(k) の後半 ($M/2 \leq k \leq M-1$) に配置する第1の中間データ発生部と、前記第1の中間データ $U(k)$ を前半と後半に区分し、前半の $U(k)$ を実数部とすると同時に後半の $U(k+M/2)$ の負号を反転して虚数部とし、更に $\exp(-j\pi k/M)$ をかけ算して、 $M/2$ 個の第2の中間データ $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$) を得る第2の中間データ発生部と、上記第2の中間データ $Z(k)$ に高速フーリエ変換を施して $M/2$ 個のフーリエ係数 $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$) を得るFFT実行部と、FFT実行手段の出力 $z(n)$ と、それに対応する所定の回転要素 $\exp(-j\pi(2n+1/2)/2M)$ との乗算結果の実数部を求めることで、第3の中間データ $y_1(n)$ の偶数番目の値を得、また、FFT実行手段の出力 $z(M/2-1-n)$ の共役複素数 $z^*(M/2-1-n)$ と、それに対応する所定の回転要素 $\exp(-j\pi \cdot (2n+3/2)/2M)$ との乗算結果の実数部を求めることで、第3の中間データ $y_1(n)$ の奇数番目の値を得る第3の中間データ発生部と、前記第3の中間データを2度ずつ使用して所定の順序に並べ、或いは負号反転する展開部とを備えてなる修正余弦変換の逆変換装置。

【請求項3】 修正離散余弦変換(MDCTと略す)の計算において、つぎの各ステップを実行することにより該変換を行うことを特徴とした修正離散余弦変換方法。

【数1】

ステップ1: 2M個の入力サンプルデータ $x(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$) より、
次式を計算し $x_2(n)$ を求める。

$$x_2(n) = \begin{cases} -x(3M/2+2n)-x(3M/2-1-2n) & (0 \leq n \leq M/4-1) \\ x(2n-M/2)-x(3M/2-1-2n) & (M/4 \leq n \leq 3M/4-1) \\ x(2n-M/2)-x(7M/2-1-2n) & (3M/4 \leq n \leq M-1) \end{cases}$$

ステップ2: ステップ1で求めた $x_2(n)$ から次式を計算し、 $Z(n)$ を求める。
(但し $j = \sqrt{-1}$ である)

$$z(n) = [x_2(n) - jx_2(n+M/2)] \cdot \exp[-j\frac{\pi n}{M}] \quad (0 \leq n \leq M/2-1)$$

ステップ3: ステップ2で求めた $z(n)$ に対して、次式に示す離散フーリエ変換を高速フーリエ変換アルゴリズムを用いて計算し、 $Z(k)$ を求める。

$$Z(k) = \sum_{n=0}^{M/2-1} z(n) \exp(-j\frac{2\pi kn}{M/2}) \quad (0 \leq k \leq M/2-1)$$

ステップ4: ステップ3で求めた $Z(k)$ から、次式を計算して $X(k)$ を求め、
MDCTの変換結果とする。(但し $\text{Re}[x]$ は x の実数部を表し、
*は複素共役を表す)

$$X(2k) = \frac{2}{M} \text{Re} \left[\exp(-j\frac{\pi(2k+1/2)}{2M}) \cdot Z(k) \right]$$

$$X(2k+1) = \frac{2}{M} \text{Re} \left[\exp(-j\frac{\pi(2k+3/2)}{2M}) \cdot Z^*(M/2-1-k) \right]$$

【請求項4】 修正離散余弦変換(MDCTと略す)の
逆変換計算において、つぎの各ステップを実行すること
により該逆変換を行うことを特徴とした修正離散余弦変

換の逆変換方法。
【数2】

ステップ1: M個のスペクトルX(k) から次式を計算して中間データU(k) を求める。

$$U(k) = \begin{cases} X(2k) & (0 \leq k \leq M/2-1) \\ -X(2M-1-2k) & (M/2 \leq k \leq M-1) \end{cases}$$

ステップ2: ステップ1で求めたU(k) から、次式を計算してZ(k) を求める。

$$Z(k) = [U(k) - jU(k+M/2)] \cdot \exp[-j\frac{\pi k}{M}] \quad (0 \leq k \leq M/2-1)$$

ステップ3: Z(k) に対して次式に示す離散フーリエ変換を高速フーリエ変換アルゴリズムを用いて計算しz(n) を求める。

$$z(n) = \sum_{k=0}^{M/2-1} Z(k) \exp(-j\frac{2\pi nk}{M/2})$$

ステップ4: z(n) から次式を計算して中間データy1(n) を求める。

(但しRe[x] はxの実数部を表し、*は複素共役を表す)

0 ≤ n ≤ M-1 に対して

$$y1(2n) = \text{Re} \left[\exp \left\{ -j\frac{\pi(2n+1/2)}{2M} \right\} z(n) \right]$$

$$y1(2n+1) = \text{Re} \left[\exp \left\{ -j\frac{\pi(2n+3/2)}{2M} \right\} z^*(M/2-1-n) \right]$$

ステップ5: y1(n) から、次式を計算してy(n) を求め、MDCTの逆変換結果とする。

$$y(n) = \begin{cases} -y1(n-3M/2) & (3M/2 \leq n \leq 2M-1) \\ -y1(3M/2-1-n) & (M/2 \leq n \leq 3M/2-1) \\ y1(n+M/2) & (0 \leq n \leq M/2-1) \end{cases}$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はオーディオ信号等の圧縮符号化において用いられる変換符号化の高速計算方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、デジタルオーディオ信号の情報量を、人の聴覚特性を積極的に利用して圧縮し、伝送または記録再生する装置が提案されている。これらの装置においては、デジタルオーディオ信号を帯域分割フィルタを用いるか、または直交変換を用いて、いくつかの周波数成分に分割する。分割した信号毎に、オーディオ信号の成分の遍在に応じて、また聴覚の特性を考慮して情報量の割当を決定していく。このようにすることで、情報量の効率的な配分が可能となり、結果として、情報量の圧縮が達成される。

【0003】オーディオ信号の圧縮に適した直交変換として、修正離散余弦変換（以下、MDCTと略す）が提案されている。MDCTについては、アイトリプルイー・トランザクションズ・オン・エイエスエスピー（IEEE TRANSACTIONS ON ASSP）第34巻5号の、第1153ページから第1161ページに掲載された、ジョン・ビー・プリンセンとアレン・ベルナード・ブラッドリー共著の論文「時間領域のエリアジングキャンセレーションを基礎にした分析/合成フィルタバンク設計」に詳しい。

【0004】MDCTの順変換式はつぎのように表現される。ここで、x(k) はMDCTのk番目のスペクトル、x(n) はMDCTのn番目の入力サンプルである。

【0005】

【数3】

$$X(k) = \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{2M-1} x(n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(n+M/2+1/2)}{M} \quad (0 \leq k \leq M-1)$$

【0006】従って $X(k)$ は、入力サンプルからなるベクトル $x(n)$ とコサイン係数マトリクスとのマトリクス乗算によって求めることができる。 M 個の $X(k)$ を求めるには、 $2M^2$ 回の乗算と $M \times (2M-1)$ 回の加算が必要となる。

【0007】また、MDCTの逆変換式はつぎのように

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} X(k) \cos \frac{\pi (k+1/2)(n+M/2+1/2)}{M} \quad (0 \leq n \leq 2M-1)$$

【0009】この式は順変換と同じ形をしており、 $2M$ 個の $y(n)$ を求めるには、やはり $2M^2$ 回の乗算と、 $2M \times (M-1)$ 回の加算が必要となる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】(数3)において、例えば M が256とすれば、MDCT順変換に要する乗算回数は131072回、加算回数は130816回となり、膨大な計算が必要であることがわかる。この数は M が増えると M の2乗に比例して増え、オーディオ機器において半導体回路でたやすく実行するには、演算回数が多すぎ、結果として装置のコストアップや、装置消費電力の増大を招来するといった不都合があった。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明はかかる不都合に鑑みてなされたものであり、下記のように構成することで効率的にMDCT計算を行うようにしている。即ち、 $2M$ 点の入力サンプルデータ $x(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$)の、特定の2点どうしの組み合わせを加算または減算し、或いは負号反転して、 M 点の第1の中間データ $x_2(n)$ ($0 \leq n \leq M-1$)を得る第1の中間データ発生部と、上記中間データ $x_2(n)$ を前半と後半に区分し、前半の $x_2(n)$ を実数部とすると同時に後半の $x_2(n+M/2)$ の負号を反転して虚数部とし、更に $\exp(-j\pi n/M)$ を掛け算して、 $M/2$ 個の第2の中間データ $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$)を得る第2の中間データ発生部と、上記第2の中間データ $z(n)$ に高速フーリエ変換を施して $M/2$ 個のフーリエ係数 $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$)を得るFFT実行部と、FFT実行手段の出力 $Z(k)$ と、それに対応する所定の回転要素との乗算結果の実数部を求めることで、入力データ $x(n)$ の偶数番目のスペクトルを得、また、FFT実行手段の出力 $Z(k)$ の共役複素数 $Z^2(M/2-1-k)$ と、それに対応する所定の回転要素との乗算結果の実数部を求めることで、入力データ $x(n)$ の奇数番目のスペクトルを出力する展開部とを備えている。

【0012】また、MDCTの逆変換計算を行うには、下記のように構成している。即ち、 M 個の入力スペクトルデータ $X(k)$ ($0 \leq k \leq M-1$)の、偶数番目のデ

表現される。但し、 $X(k)$ はMDCTのスペクトルであり、 $y(n)$ は変換によって得られたサンプル列である。

【0008】

【数4】

ータを M 個の第1の中間データ $U(k)$ ($0 \leq k \leq M-1$)の前半 ($0 \leq k \leq M/2-1$)に配置し、奇数番目のデータを負号反転し、更に順序を反転した後、前記第1の中間データ $U(k)$ の後半 ($M/2 \leq k \leq M-1$)に配置する第1の中間データ発生部と、前記第1の中間データ $U(k)$ を前半と後半に区分し、前半の $U(k)$ を実数部とすると同時に後半の $U(k+M/2)$ の負号を反転して虚数部とし、更に $\exp(-j\pi k/M)$ を掛け算して、 $M/2$ 個の第2の中間データ $Z(k)$ ($0 \leq k \leq M/2-1$)を得る第2の中間データ発生部と、上記第2の中間データ $Z(k)$ に高速フーリエ変換を施して $M/2$ 個のフーリエ係数 $z(n)$ ($0 \leq n \leq M/2-1$)を得るFFT実行部と、FFT実行手段の出力 $z(n)$ と、それに対応する所定の回転要素 $\exp(-j\pi(2n+1/2)/2M)$ との乗算結果の実数部を求めることで、第3の中間データ $y_1(n)$ の偶数番目の値を得、また、FFT実行手段の出力 $z(M/2-1-n)$ の共役複素数 $z^2(M/2-1-n)$ と、それに対応する所定の回転要素 $\exp(-j\pi \cdot (2n+3/2)/2M)$ との乗算結果の実数部を求めることで、第3の中間データ $y_1(n)$ の奇数番目の値を得る第3の中間データ発生部と、前記第3の中間データを2度ずつ使用して所定の順序に並べ、或いは負号反転する展開部とを備えているのである。

【0013】

【作用】本発明の構成によれば、MDCTの順変換及び逆変換の計算において、ベクトル $x(n)$ やベクトル $X(k)$ とコサイン係数マトリクスとのマトリクス乗算を実行する代わりに、余弦関数の対称性を巧妙に利用して、高速フーリエ変換のアルゴリズムが利用できるように計算手順を構成し、さらに高速フーリエ変換に供されるサンプルの数も半減しているので、計算手順を大幅に効率化することができる。

【0014】

【実施例】始めにMDCTの順変換に対する高速計算法を説明する。MDCTの定義式は次式で表現できる。ここに、 $x(n)$ は入力サンプル、 $X(k)$ は k 番目のスペクトルである。

【0015】

$$X(k) = \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{M-1} x(n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(n+M/2+1/2)}{M} \quad (0 \leq k \leq M-1) \quad \text{【数5】}$$

【0016】図1は本発明によるMDCT順変換の高速計算法の流れを示している。図1のステップ1では、次式に従って $x(n)$ から $x_2(n)$ を求めている。

【0017】

【数6】

$$x_2(n) = \begin{cases} -x(3M/2+2n)-x(3M/2-1-2n) & (0 \leq n \leq M/4-1) \\ x(2n-M/2)-x(3M/2-1-2n) & (M/4 \leq n \leq 3M/4-1) \\ x(2n-M/2)+x(7M/2-1-2n) & (3M/4 \leq n \leq M-1) \end{cases}$$

【0018】このことについて説明する。まず、コサインの対称性を利用するために $x(n)$ の順序及び負号を変換して、次式のように $x_1(n)$ を定義する。

【0019】

【数7】

$$x_1(n) = \begin{cases} -x(3M/2+1) & (0 \leq n \leq M/2-1) \\ x(n-M/2) & (M/2 \leq n \leq 2M-1) \end{cases}$$

【0020】この $x_1(n)$ を用いて(数3)を書き直すと次式となる。

【0021】

【数8】

$$X(k) = \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{M-1} x_1(n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(n+1/2)}{M} \quad (0 \leq k \leq M-1)$$

【0022】ここで(数7)の操作は図3のように表せる。図3では数列 $x(n)$ を4つの部分に分割している。Aの部分は $x(n)$ の $0 \leq n \leq M/2-1$ の部分であり、Bは $M/2 \leq n \leq M-1$ の部分であり、Cは $M \leq n \leq 3M/2-1$ の部分であり、Dは $3M/2 \leq n \leq 2M-1$ の部分である。(数7)では、図3のABCの部分は $M/2$ サンプル分後ろへシフトする。また、 x

(n)のDの部分は負号反転して、 $x(n)$ の先頭に配置する。このようにすることによって、(数5)のコサイン項の中の $M/2$ を消去している。つぎにコサイン関数の対称性により(数8)を書き換えて、

【0023】

【数9】

$$\begin{aligned} X(k) &= \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \{ x_1(2n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(2n+1/2)}{M} \\ &\quad + x_1(2M-1-2n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(2M-1-2n+1/2)}{M} \} \\ &= \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \{ x_1(2n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(2n+1/2)}{M} \\ &\quad - x_1(2M-1-2n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(2n+1/2)}{M} \} \end{aligned} \quad (0 \leq k \leq M-1)$$

【0024】ここで、

【0026】としてまとめると、

【0025】

【0027】

【数10】

【数11】

$$x_2(n) = x_1(2n) - x_1(2M-1-2n)$$

$$\begin{aligned}
 X(k) &= \frac{2}{M} \sum_{n=0}^{M-1} x_2(n) \cos \frac{\pi (k+1/2)(2n+1/2)}{M} \\
 &= \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=0}^{M-1} x_2(n) \exp(-j \frac{\pi (k+1/2)(2n+1/2)}{M}) \right] \\
 &= \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp(-j \frac{\pi (k+1/2)}{2M}) \sum_{n=0}^{M-1} x_2(n) \exp(-j \frac{2\pi (k+1/2)n}{M}) \right]
 \end{aligned}$$

【0028】と表すことができる。但し $\operatorname{Re}[x]$ は x の実数部を意味する。ここで(数7)と(数10)をまとめることにより、図4に示すように(数6)が導かれる。図4では n の各区分毎に $x_1(2n)$ と、 $x_1(2M-1-2n)$ が示されており、各区分毎に、 $x_2(n) = x_1(2n) - x_1(2M-1-2n)$ が示されている。例えば、 n が $0 \leq n \leq M/4-1$ の範囲であれば、 $x_1(2n) = -x_1(3M/2+2n)$ であり、 $x_1(2M-1-2n) = x_1(3M/2-1-2n)$ であるので、 $x_2(n) = x_1(2n) - x_1(2M-1-2n) = -x_1(3M/2+2n) - x_1(3M/2-1-2n)$ である。

$$\begin{aligned}
 X_2(2k) &= \sum_{n=0}^{M/2-1} x_2(n) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (2k+1/2)n}{M} \right\} \\
 &\quad + \sum_{n=M/2}^{M-1} x_2(n) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (2k+1/2)n}{M} \right\} \\
 &= \sum_{n=0}^{M/2-1} x_2(n) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (2k+1/2)n}{M} \right\} \\
 &\quad + \sum_{n=0}^{M/2-1} x_2(n+M/2) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (2k+1/2)(n+M/2)}{M} \right\} \\
 &= \sum_{n=0}^{M/2-1} \{ [x_2(n) - jx_2(n+M/2)] \exp(-j \frac{2\pi n}{2M}) \} \exp(-j \frac{2\pi kn}{M/2})
 \end{aligned}$$

【0033】ここで、

【0034】

【数14】

$$Z(n) = [x_2(n) - jx_2(n+M/2)] \exp(-j \frac{2\pi n}{2M})$$

【0035】とおくと、 $X_2(2k)$ は

【0036】

【数15】

$$\begin{aligned}
 X_2(2k) &= \sum_{n=0}^{M/2-1} Z(n) \exp(-j \frac{2\pi kn}{M/2}) \\
 &= \text{DFT} [Z(n)] \\
 &= Z(k)
 \end{aligned}$$

【0037】と表せる。ここに $\text{DFT}[x]$ は x の離散フーリエ変換である。従って、図1におけるステップ2

【0029】つぎに、(数11)の累和 Σ に続く項を $X_2(k)$ とすると、

【0030】

【数12】

$$X_2(k) = \sum_{n=0}^{M-1} x_2(n) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (k+1/2)n}{M} \right\}$$

【0031】累和の範囲 $n=0 \sim M-1$ を、 $n=0 \sim M/2-1$ と $n=M/2 \sim M-1$ とに分割して書き直し、更に k を $2k$ に置き換えて、

【0032】

【数13】

では、ステップ1で求めた $x_2(n)$ から、複素数 $z(n)$ を求めている。そして続くステップ3では高速フーリエ変換のアルゴリズムを用いて、 $z(n)$ の離散フーリエ変換を実行して $Z(k)$ を求めている。

【0038】また、 $X_2(M-1-k) = X_2^*(k)$ の関係より、 $X_2(2k+1)$ は次式より求められる。但し $*$ は複素共役を表す。

【0039】

【数16】

$$X_2(2k+1) = X_2^*[M-2(k+1)] = Z^*(M/2-1-k)$$

【0040】ここで、(数15)、(数16)を用いて(数11)を書き改めると、

【0041】

【数17】

$$X(2k) = \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp(-j \frac{\pi (2k+1/2)}{2M}) \cdot Z(k) \right]$$

【0042】

$$X(2k+1) = \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp \left\{ -j \frac{\pi (2k+3/2)}{2M} \right\} \cdot Z^*(M/2-1-k) \right] \quad \text{【数18】}$$

【0043】となり、図1のステップ4によって、 $X(k)$ が $Z(k)$ から求められる。以上をまとめると、率的に計算できる。

MDCTは図1に示されるように、以下のステップで効率的に計算できる。 【0044】

ステップ1：2M個の入力サンプルデータ $x(n)$ ($0 \leq n \leq 2M-1$) より、 【数19】

次式を計算し $x_2(n)$ を求める。

$$x_2(n) = \begin{cases} -x(3M/2+2n)-x(3M/2-1-2n) & (0 \leq n \leq M/4-1) \\ x(2n-M/2)-x(3M/2-1-2n) & (M/4 \leq n \leq 3M/4-1) \\ x(2n-M/2)-x(7M/2-1-2n) & (3M/4 \leq n \leq M-1) \end{cases}$$

ステップ2：ステップ1で求めた $x_2(n)$ から次式を計算し、 $Z(n)$ を求める。（但し $j = \sqrt{-1}$ である）

$$z(n) = [x_2(n) - jx_2(n+M/2)] \cdot \exp \left[-j \frac{\pi n}{M} \right] \quad (0 \leq n \leq M/2-1)$$

ステップ3：ステップ2で求めた $z(n)$ に対して、次式に示す離散フーリエ変換を高速フーリエ変換アルゴリズムを用いて計算し、 $Z(k)$ を求める。

$$Z(k) = \sum_{n=0}^{M/2-1} z(n) \exp \left(-j \frac{2\pi kn}{M/2} \right) \quad (0 \leq k \leq M/2-1)$$

ステップ4：ステップ3で求めた $Z(k)$ から、次式を計算して $X(k)$ を求め、MDCTの変換結果とする。（但し $\operatorname{Re}[x]$ は x の実数部、 $\operatorname{Im}[x]$ は x の虚数部を表し、 $*$ は複素共役を表す）

$$\begin{aligned} X(2k) &= \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp \left\{ -j \frac{\pi (2k+1/2)}{2M} \right\} Z(k) \right] \\ &= \frac{2}{M} A_0(k) \cdot \operatorname{Re} [Z(k)] + \frac{2}{M} A_1(k) \cdot \operatorname{Im} [Z(k)] \\ X(2k+1) &= \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp \left\{ -j \frac{\pi (2k+3/2)}{2M} \right\} Z^*(M/2-1-k) \right] \\ &= \frac{2}{M} A_2(k) \cdot \operatorname{Re} [Z(M/2-1-k)] - \frac{2}{M} A_3(k) \cdot \operatorname{Im} [Z(M/2-1-k)] \end{aligned}$$

ここに、

$$A_0(k) = \cos \frac{2\pi (4k+1)}{8M}, \quad A_1(k) = \sin \frac{2\pi (4k+1)}{8M}$$

$$A_2(k) = \cos \frac{2\pi (4k+3)}{8M}, \quad A_3(k) = \sin \frac{2\pi (4k+3)}{8M}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, M/2-1.$$

【0045】図6は、図1に示したMDCTの順変換のステップを実行する装置のブロック図である。図6にお

いて第1の中間データ発生部1は、入力データ $x(n)$ から、(数6)のような $x_2(n)$ を計算して出力す

る。第2の中間データ発生部2は第1の中間データ発生部1の出力した $x_2(n)$ から(数14)を計算して $z(n)$ を出力する。FFT実行部3は、第2の中間データ発生部2の出力した $z(n)$ に対して高速フーリエ変換を実行して結果を $Z(k)$ として出力する。展開部4はFFT実行部3の出力 $Z(k)$ から、(数17)及び(数18)に従って $X(k)$ を計算する。この展開部4の出力を入力 $x(n)$ のMDCTとしているのである。

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} X(k) \cos \frac{\pi(k+1/2)(n+M/2+1/2)}{M} \quad (0 \leq n \leq 2M-1)$$

【0048】コサイン関数の対称性を利用するために、 $y_1(n)$ をつぎのように定義する。

$$y_1(n) = \begin{cases} -y(n+3M/2) \\ y(n-M/2) \end{cases}$$

【0049】

【数21】

$$(0 \leq n \leq M/2-1)$$

$$(M/2 \leq n \leq 2M-1)$$

【0050】(数16)より、 $y_1(n)$ はつぎのように表現できる。

$$y_1(n) = \sum_{k=0}^{M-1} X(k) \cos \frac{\pi(k+1/2)(n+1/2)}{M} \quad (0 \leq n \leq 2M-1)$$

【0051】

【数22】

【0052】ここで、 $U(k)$ を次式のように定義する。

$$U(k) = \begin{cases} X(2k) \\ -X(2M-1-2k) \end{cases}$$

【0053】

【数23】

$$(0 \leq k \leq M/2-1)$$

$$(M/2 \leq k \leq M-1)$$

【0054】(数23)を用いて(数22)を書き直すと、

【0055】

【数24】

【0046】つぎに、MDCTの逆変換について説明する。逆変換も、先に述べた順変換と類似の手順で計算することができる。MDCTの逆変換は次式で表される。但し、 $X(k)$ はMDCTのスペクトルであり、 $y(n)$ は変換によって得られたサンプル列である。

【0047】

【数20】

$$\begin{aligned}
y_1(n) &= \sum_{k=0}^{M/2-1} X(2k) \cos \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \\
&\quad - \sum_{k=M/2}^{M-1} X(2M-1-2k) \cos \frac{\pi (2M-2k-1/2)(n+1/2)}{M} \\
&= \sum_{k=0}^{M/2-1} U(k) \cos \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \\
&\quad - \sum_{k=M/2}^{M-1} U(k) \cos \frac{\pi (2M-2k-1/2)(n+1/2)}{M} \\
&= \sum_{k=0}^{M/2-1} U(k) \cos \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \\
&\quad + \sum_{k=M/2}^{M-1} U(k) \cos \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \\
&= \sum_{k=0}^{M-1} U(k) \cos \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \\
&= \operatorname{Re} \left[\sum_{k=0}^{M-1} U(k) \exp \left\{ -j \frac{\pi (2k+1/2)(n+1/2)}{M} \right\} \right] \\
&= \operatorname{Re} \left[\exp \left\{ -j \frac{\pi (n+1/2)}{2M} \right\} \sum_{k=0}^{M-1} U(k) \exp \left\{ -j \frac{2\pi (n+1/2)k}{M} \right\} \right]
\end{aligned}$$

【0056】(数24)は、 $2/M$ が掛けられていない以外は(数11)と同じ形をしている。従って、(数24)の計算は、(数11)を用いたMDCTの順変換と同様な計算手法を用いることができる。このとき(数20)で定義された $2M$ 個の $Y_1(n)$ のうち、 $0 \leq n \leq M-1$ の M 個のみが求まるが、(数22)から、導かれるように、 $y_1(n) = -y_1(2M-1-n)$ なる関係があるので、図5に示すように、 $M \leq n \leq 2M-1$ の $y_1(n)$ は、 $0 \leq n \leq M-1$ の $y_1(n)$ より直ちに求められる。即ち図5の $y_1(n)$ の $0 \leq n \leq M-1$ にあるA、B、C、Dは、 $M \leq n \leq 2M-1$ に負号反転の後、複写され-D、-C、-B、-Aとして求められる。故に、(数21)を考え合わせると、結局 $y(n)$ は $y_1(n)$ からつぎのようにして求められる。即ち、

【0057】

ステップ1：M個のスペクトル $X(k)$ から次式を計算して中間データ $U(k)$ を求める。

$$U(k) = \begin{cases} X(2k) & (0 \leq k \leq M/2-1) \\ -X(2M-1-2k) & (M/2 \leq k \leq M-1) \end{cases}$$

【0060】

【数25】

$0 \leq n \leq M/2-1$ に対しては

$$y(n) = y_1(M/2+n)$$

また、 $M/2 \leq n \leq 3M/2-1$ に対して

$$y(n) = y_1(M/2+n)$$

$$= -y_1(3M/2-1-n)$$

また、 $3M/2 \leq n \leq 2M-1$ に対して

$$y(n) = -y_1(n-3M/2)$$

【0058】以上述べてきたことをまとめるとMDCTの逆変換は図2に示すように、つぎのステップで求めることができる。

【0059】

【数26】

【数27】

ステップ2: ステップ1で求めた $U(k)$ から、次式を計算して $Z(k)$ を求める。

$$Z(k) = [U(k) - jU(k+M/2)] \cdot \exp[-j\frac{\pi k}{M}] \quad (0 \leq k \leq M/2-1)$$

【0061】

【数28】

ステップ3: $Z(k)$ に対して次式に示す離散フーリエ変換を高速フーリエ変換アルゴリズムを用いて計算し $z(n)$ を求める。

$$z(n) = \sum_{k=0}^{M/2-1} Z(k) \exp(-j\frac{2\pi nk}{M/2})$$

【0062】

【数29】

ステップ4: $z(n)$ から次式を計算して中間データ $y_1(n)$ を求める。

(但し $\text{Re}[x]$ は x の実数部、 $\text{Im}[x]$ は x の虚数部を表し、 $*$ は複素共役を表す)

$0 \leq n \leq M-1$ の範囲において、

$$y_1(2n) = \text{Re} \left[\exp \left\{ -j\frac{\pi(2n+1/2)}{2M} \right\} z(n) \right]$$

$$= a_0(n) \cdot \text{Re}[z(n)] + a_1(n) \cdot \text{Im}[z(n)]$$

$$y_1(2n+1) = \text{Re} \left[\exp \left\{ -j\frac{\pi(2n+3/2)}{2M} \right\} z^*(M/2-1-n) \right]$$

$$= a_2(n) \cdot \text{Re}[z(M/2-1-n)] - a_3(n) \cdot \text{Im}[z(M/2-1-n)]$$

ここに、

$$a_0(n) = \cos \frac{2\pi(4n+1)}{8M}, \quad a_1(n) = \sin \frac{2\pi(4n+1)}{8M}$$

$$a_2(n) = \cos \frac{2\pi(4n+3)}{8M}, \quad a_3(n) = \sin \frac{2\pi(4n+3)}{8M}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, M/2-1.$$

【0063】

【数30】

ステップ5: $y_1(n)$ から、次式を計算して $y(n)$ を求め、MDCTの逆変換結果とする。

$$y(n) = \begin{cases} -y_1(n-3M/2) & (3M/2 \leq n \leq 2M-1) \\ -y_1(3M/2-1-n) & (M/2 \leq n \leq 3M/2-1) \\ y_1(n+M/2) & (0 \leq n \leq M/2-1) \end{cases}$$

【0064】図7は、図2に示したMDCTの逆変換のステップを実行する装置のブロック図である。図7において第1の中間データ発生部5は、入力データ $X(k)$ から、(数23)に表現される $U(k)$ を計算して出力する。第2の中間データ発生部6は第1の中間データ発生部5の出力した $U(k)$ から(数27)を計算して $Z(k)$ を出力する。FFT実行部7は、第2の中間データ発生部6の出力した $Z(k)$ に対して高速フーリエ変

換を実行して結果を $z(n)$ として出力する。第3の中間データ発生部8はFFT実行部7の出力 $z(n)$ から、(数29)を実行して第3の中間データである $y_1(n)$ を求めて出力する。展開部9は第3の中間データ発生部8の出力 $y_1(n)$ を、(数30)に従って並べ替え、或いは負号反転して $y(n)$ を求めて出力する。この展開部9の出力を入力データ $X(k)$ のMDCT逆変換とする。

【0065】以上、述べてきたようにMDCTの順変換及び逆変換は、本発明を用いて効率的に計算することができる。

【0066】

【発明の効果】例えば（数5）において、 $M=256$ とすれば、MDCTの順変換において必要な乗算回数は、 $512 \times 256 = 131072$ 回、加算回数は $511 \times 256 = 130816$ 回となり、膨大な計算が必要である。しかし本発明の高速計算法によれば、MDCTの順変換における各ステップに必要な演算回数はつぎのようになる。

【0067】（ステップ1の演算回数）加算 $M=256$ 回

（ステップ2の演算回数）複素数どうしのかけ算であるので、実数部と虚数部それぞれを求めるのに、 M 回の乗算と $M/2$ 回の加算が必要。従って、

加算 $M=256$ 回

乗算 $2M=512$ 回

（ステップ3の演算回数） $M/2$ 点のFFTは、 $(M/2) \cdot \log_2 M$ 回のバタフライ演算を要する。従って $M=256$ では、1024回のバタフライ演算が必要である。1回のバタフライ演算には2回の複素乗算と1回の複素乗算が含まれるので、これは実数演算に直すと加算6回と乗算4回であるので、総計としては、

加算 $1024 \times 6 = 6144$ 回

乗算 $1024 \times 4 = 4096$ 回

（ステップ4の演算回数） $(2/M)A_0(k) \sim (2/M)A_3(k)$ は、予め計算しテーブルとして用意できるので1つの $X(k)$ に対しては、乗算2回と加算1回が必要である。従って、

加算 256 回

乗算 512 回

これらを計算すると、MDCTの順変換として必要な計算量は、加算が6912回、乗算が5120回となり、乗算及び加算ともに演算回数が約25分の1に削減される。MDCTの逆変換においても同様に大幅に演算回数が削減される。

【0068】このように本発明によれば、MDCTの計算を非常に効率よく実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例のMDCTの順変換計算手順流れ図

【図2】本発明の実施例のMDCTの逆変換計算手順流れ図

【図3】（数7）の説明図

【図4】（数6）の説明図

【図5】（数30）の説明図

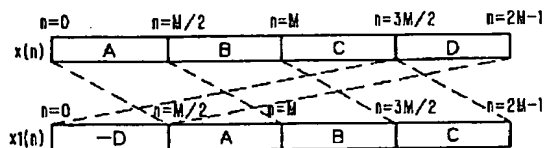
【図6】本発明の実施例のMDCTの順変換装置のブロック図

【図7】本発明の実施例のMDCTの逆変換装置のブロック図

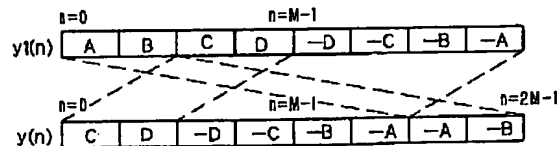
【符号の説明】

- 1 第1の中間データ発生部
- 2 第2の中間データ発生部
- 3 FFT実行部
- 4 展開部
- 5 第1の中間データ発生部
- 6 第2の中間データ発生部
- 7 FFT実行部
- 8 第3の中間データ発生部
- 9 展開部

【図3】



【図5】



【図4】

	$0 \leq n \leq M/4-1$	$M/4 \leq n \leq M/2-1$	$M/2 \leq n \leq 3M/4-1$	$3M/4 \leq n \leq M-1$
$x1(2n)$	$-x(3M/2+2n)$	$x(2n-M/2)$		
$x1(2M-1-2n)$	$x(3M/2-1-2n)$			$-x(7M/2-1-2n)$
$x2(n)$	$-x(3M/2+2n)$ $-x(3M/2-1-2n)$	$x(2n-M/2)-x(3M/2-1-2n)$		$x(2n-M/2)$ $+x(7M/2-1-2n)$

【図1】

ステップ1

2M個の入力データ $X(n)$ からM個の $x_2(n)$ を求める。

$$x_2(n) = \begin{cases} -x(3M/2+2n)-x(3M/2-1-2n) & 0 \leq n \leq M/4-1 \\ x(2n-M/2)-x(3M/2-1-2n) & M/4 \leq n \leq 3M/4-1 \\ x(2n-M/2)+x(7M/2-1-2n) & 3M/4 \leq n \leq M-1 \end{cases}$$

ステップ2

$x_2(n)$ から複素数列 $z(n)$ を求める。

$$z(n) = [x_2(n) - jx_2(n+M/2)] \cdot \exp[-j \frac{\pi n}{M}] \quad 0 \leq n \leq M/2-1$$

ステップ3

$z(n)$ から高速フーリエ変換で $Z(k)$ を求める。

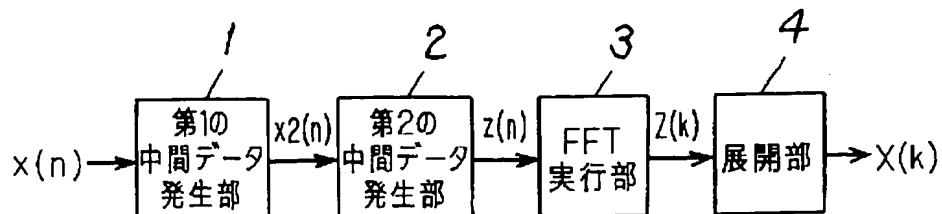
ステップ4

$Z(k)$ から $X(k)$ を求める。

$$X(2k) = \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp(-j \frac{\pi(2k+1/2)}{2M}) \cdot Z(k) \right]$$

$$X(2k+1) = \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\exp(-j \frac{\pi(2k+3/2)}{2M}) \cdot Z^*(M/2-1-k) \right]$$

【図6】



【図2】

ステップ1

M個のスペクトル $X(k)$ から次式に従って $U(k)$ を求める。

$$U(k) = \begin{cases} X(2k) & 0 \leq k \leq M/2-1 \\ -X(2M-1-2k) & M/2 \leq k \leq M-1 \end{cases}$$

ステップ2

 $U(k)$ から複素数列 $Z(k)$ を求める。

$$Z(k) = [U(k) - jU(k+M/2)] \cdot \exp[-j\frac{\pi k}{M}] \quad 0 \leq k \leq M/2-1$$

ステップ3

 $Z(k)$ から高速フーリエ変換で $z(n)$ を求める。

ステップ4

次式に従い $z(n)$ から $y_1(n)$ を求める。

$$0 \leq n \leq M-1$$

$$y_1(2n) = \operatorname{Re} \left[\exp[-j\frac{\pi(2n+1/2)}{2M}] z(n) \right]$$

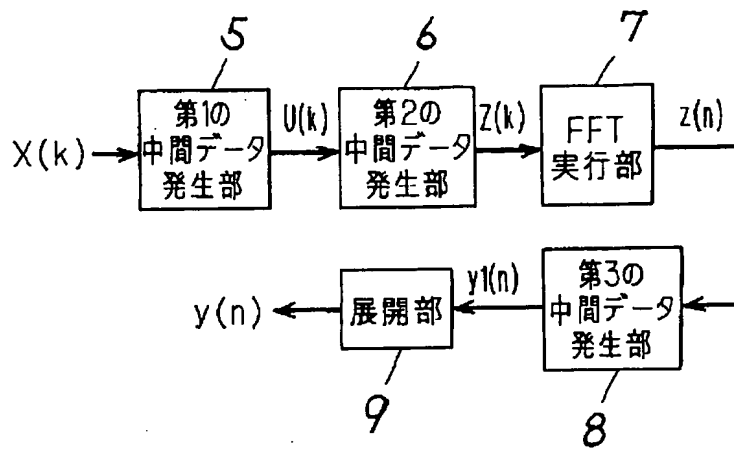
$$y_1(2n+1) = \operatorname{Re} \left[\exp[-j\frac{\pi(2n+3/2)}{2M}] z^*(M/2-1-n) \right]$$

ステップ5

 $y_1(n)$ から $y(n)$ を求める。

$$y(n) = \begin{cases} -y_1(n-3M/2) & 3M/2 \leq n \leq 2M-1 \\ -y_1(3M/2-1-n) & M/2 \leq n \leq 3M/2-1 \\ y_1(n+M/2) & 0 \leq n \leq M/2-1 \end{cases}$$

【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 笠原 哲志
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内